Los paradigmas en la Física, retardos difusionales e implicaciones didácticas

Paradigms in Physics, diffusional delays and educational implications

Antonio D´Alessandro Martínez (1) (2)
adaless@gmail.com

José Luis Michinel (1) (3)
jmichine@fisica.ciens.ucv.ve

Manuel Malaver de la Fuente (4)
mmf.umc@gmail.com

(1) Universidad Central de Venezuela
(2) Universidad Simón Bolívar, Venezuela
(3) Universidade Estadual de Feira de Santana, Brasil,
(4) Universidad Marítima del Caribe, Venezuela

Articulo recibido en marzo 2015 y publicado septiembre 2015

RESUMEN

El articulo analiza diferentes caracterizaciones de paradigmas de la ciencia y a partir de estas caracterizaciones se ocupa del desarrollo de paradigmas en Física hasta el siglo XIX (modernismo) y desde el siglo XX (postmodernismo). Se identifican las condiciones de producción de estos paradigmas y se avanza hacia una propuesta paradigmática compleja sintética de la Física actual con un interés metodológico y didáctico.

Palabras clave: *Paradigmas; física; modernismo; postmodernismo; implicaciones didácticas*

ABSTRACT

The paper discusses different characterizations of paradigms in science and from these characterizations addresses the development of paradigms in Physics until the nineteenth century (modernism) and from the twentieth century (postmodernism). Production conditions of these paradigms are identified and progress towards a proposal paradigmatic complex synthetic of current Physics, with a methodological and didactic interest.

Key words: *Paradigms; physics; modernism; postmodernism; educational implications*

INTRODUCCIÓN

Kuhn, en "La estructura de las revoluciones científicas" (1971) define un Paradigma ("modelo" en griego) como una estructura coherente constituida por una red de conceptos a través de los cuales los científicos ven su campo, una red de creencias teóricas y metodológicas entrelazadas que permiten la selección, evaluación, crítica de temas, problemas y métodos, y una red de compromisos entre los miembros de una comunidad científica, todo lo cual implica una definición específica del campo de la ciencia correspondiente que se expresa en una tradición orgánica de investigación científica. Entre las características señaladas por Ansoff (1987) para un paradigma, las siguientes son de interés para este trabajo:

- Es un paraguas científico, es decir, es una meta-teoría que deriva su poder unificador de su perspectiva de "ojo de pájaro" de la realidad que lo coloca a un nivel más alto que las perspectivas de las teorías anteriores.
- Estimula nuevos inicios teóricos. Por ejemplo, la perspectiva paradigmática convierte viejos argumentos del tipo "cuál es el primero" en argumentos más fructíferos como "cuándo es primero éste y cuándo es primero el otro, y cuándo su desarrollo es paralelo".

Así en Física, la Teoría de la Relatividad incluye a la mecánica clásica despojándola de su carácter universal y le señala su rango de validez. Por otro lado, la mecánica relativista y la mecánica cuántica devienen en mecánica newtoniana cuando se aplican ciertos límites. Este es el denominado Principio de Correspondencia (Beiser, 1970), lo cual no significa que una teoría se corresponda ontológicamente con la otra en un rango determinado. Un ejemplo de esta no correspondencia ontológica es el aporte de Einstein en la comprensión del efecto fotoeléctrico (1905) al proponer que la energía cuantizada para la luz –anteriormente propuesta por Planck (1900) para explicar su formulación de la radiación del cuerpo negro– estaba asociada a paquetes de onda (onda localizada conteniendo energía cuantizada hv, donde v es la frecuencia y h la constante de Planck) viajando en el espacio y no a vectores eléctricos y magnéticos oscilando acopladamente como fue propuesto por Maxwell. De esa manera el "ente

cuántico", el fotón, no es ni una onda clásica ni una partícula clásica, aun cuando pueda tener propiedades similares a las que poseen una y otra, manifestándose una u otra dependiendo del tipo de interacción.

Kuhn (1971) afirma que gran parte de la imagen de la ciencia que domina la sociedad proviene de los manuales con los que cada generación de nuevos científicos aprende su oficio, lo que conlleva a suponer que los trasfondos filosóficos (ontológicos, epistemológicos y teóricos) que acompañan a los paradigmas científicos deben estar explícitos en los propios manuales de formación de esas generaciones y de alguna manera en los libros de texto de información en las ciencias en general y particularmente de la Física en los otros niveles de educación.

Sin embargo, los textos didácticos de Física comúnmente se dedican a explicar las teorías, los conceptos que las conforman y las relaciones entre estos conceptos por un lado y por otro a aplicar mediante la solución de problemas, fundamentalmente de tipo algebraico, la formulación de esas teorías y conceptos. Así también se proponen actividades experimentales que buscan fundamentalmente verificar esos desarrollos teóricos, olvidando o minimizando los aspectos filosóficos que son constitutivos de los paradigmas. Casi en su totalidad, los libros de texto están diseñados para aceptar las teorías vigentes y no para su impugnación, en ellos el disenso ha sido execrado.

Como quiera que los libros didácticos tradicionalmente son parte sustancial del desarrollo del microcurrículo (programas de las asignaturas), que también se constituyen en una herramienta de actualización científica del profesorado (Pro et al, 2008) esa estructura no impugnadora ha permeado hacia todos los niveles de la enseñanza de la Física.

Este trabajo aborda algunas teorías sobre los procesos de desarrollo del conocimiento y de la ciencia en particular, pretendiendo contribuir a la discusión sobre cómo se han generado, evolucionado, ampliado y sustituido, los paradigmas en la Física. Adicionalmente, se discute el uso permanente de conceptos derivados de paradigmas superados y más generalmente, la persistencia del sublenguaje propio de ellos. También se diserta sobre la adopción de los paradigmas de la Física, el carácter

rector de ellos y la forma de expresarlos (fisicismo y fisicalismo) en las demás ciencias.

MÉTODO

Con el propósito de presentar la orientación metodológica de la investigación, este trabajo se fundamenta en una perspectiva teórica que integra: a) la propuesta teórica formulada por Pêcheux (Herbert, 1995) en relación con el desarrollo de una ciencia, cualquiera que ella sea e independiente de su nivel de desarrollo, que distingue dos momentos: uno primero de "transformación productora" de su objeto, que es dominado por un trabajo de elaboración teórico-conceptual que subvierte el discurso ideológico con el cual rompe y un segundo momento de "reproducción metódica", de ese objeto, por medio del cual explora, desde el interior, su discurso para verificar su coherencia, este momento es de carácter "conceptual-experimental y establece los fenómenos que esa ciencia produce y b) la propuesta teórica de Kuhn (2011) relacionada con la anomalía y la emergencia de los descubrimientos científicos que es un ajuste o recorte de su propuesta más global recogida en su obra: La estructura de las revoluciones científicas, la cual establece que el descubrimiento científico es una estructura compleja, no un evento unitario, que se extiende en el tiempo y el espacio y por lo tanto está provista de una estructura interna.

Así, a partir de su perspectiva histórica de las ciencias, Kuhn establece que: a) el desarrollo científico depende parcialmente de un proceso de cambio no acumulativo o revolucionario, b) algunas revoluciones son de gran alcance – es el caso, en Física, de las revoluciones copernicana, newtoniana, cuántica, relativista, complejidad – pero en su mayoría son más limitadas en su alcance, c) Estas revoluciones son consecuencias de las anomalías – ocurrencias que no se ajustan a los modos de explicación, en el momento, de los fenómenos – lo que obliga a producir nuevas formas de explicación, de las anomalías, que también van afectar otros fenómenos que no eran problemáticos. (op. cit.).

Este referencial teórico orienta la caracterización de una propuesta metodológica de análisis documental que permita identificar cómo se

han generado, evolucionados, ampliados y sustituidos, los paradigmas en la Física propuestos por diferentes comunidades científicas lideradas por destacados científicos, filósofos e historiadores. Así se harán interpretaciones de las teorías propuestas en textos ejemplares escritos por autores que se irán indicando en la discusión con el fin de caracterizar esos procesos a la luz de los referentes teóricos indicados.

RESULTADOS

¿Cómo ocurren los cambios de paradigma en las ciencias?

Existen diversas concepciones sobre la dinámica de los cambios de paradigmas que conllevan a las revoluciones científicas. Según Kuhn (1971) los siguientes aspectos caracterizan su ocurrencia:

- Las teorías decididamente nuevas no nacen por verificación ni por falsación sino por sustitución.
- En el estado de ciencia normal, mientras un modelo explicativo prueba su eficacia, los científicos raramente buscan otras alternativas.
- Cuando en el período de ciencia normal se descubren algunas anomalías, fenómenos nuevos, inesperados, lo primero que hacen los científicos es intentar integrarlos en el modelo explicativo tradicional.
- Al nacimiento de las nuevas teorías las precede siempre un período de ostensible inseguridad, que acaba por destruir (o desplazar) el paradigma. En resumen, la crisis es, de ordinario, condición previa para la sustitución del modelo explicativo antes vigente.

Sin embargo, como ha sido mencionado anteriormente existen otros puntos de vista, uno de ellos es el de Popper (1999), expresado en su obra: Lógica del Descubrimiento Científico, aparece en forma resumida en el cuadro 1 comparado con el de Kuhn, la mentalidad en la que enfoca su visión, las teorías que generan y el estadio científico que priorizan cada uno de esos dos enfoques. Con el objeto de hacer comprensible esta comparación es necesario definir los conceptos de ciencia normal y ciencia extraordinaria. La primera está gobernada por un paradigma, en el cual se confía implícitamente, pero éste no se ajustará perfectamente a los hallazgos experimentales o empíricos, siempre habrá discrepancias

o anomalías. Ahora bien, la ciencia normal consiste en gran medida en resolver estas anomalías haciendo los oportunos ajustes que dejen esencialmente intacto el paradigma. En el período de ciencia extraordinaria la teoría vigente se ve afectada y ocurre contrastación de teorías.

Cuadro 1. Comparación entre los enfoques de Kuhn y Popper

Pensador	Mentalidad en la que enfoca su visión	Contrastación de Teorías	Estadio científico que prioriza
Kuhn	Hay que estudiar la mentalidad de la Comunidad Científica (Psicología Social).	Nada de panaceas, solo normalidad. Es incorrecto decir que contrastar teorías es normal para los científicos.	Mayor importancia a la ciencia normal.
Popper	Hay que estudiar la mentalidad del gran científico (Psicología Individual).	Revolución permanente. Los científicos hacen observaciones y las contrastan paso a paso.	Mayor importancia a la ciencia extraordinaria.

Otros pensadores también han hecho aportes sobre la forma de alcanzar el progreso científico, entre ellos Whitehead quien planteó que en períodos de turbulencia y discontinuidad científica, las variables psicológicas más que las cognitivas se vuelven predominantes y que el compromiso del científico con su visión original le impide aceptar nuevas visiones. Al respecto, Whitehead (citado por Ansoff, p. 62) señaló que: "Un hombre con una explicación exitosa de una realidad anterior se transforma en un caso patológico cuando debe enfrentar una nueva realidad" (op. cit, p. 62).

Un punto de vista similar es sostenido por Von Bertalanffy, en su "Teoría General de Sistemas" (1991, p. 249), donde señala que: "y a la inversa, es un grave obstáculo que las gafas de tal o cual concepción teórica impiden darse cuenta de fenómenos que son en sí mismos perfectamente obvios".

Otro punto de vista sobre la ciencia es representado por Feyerabend (1977), quien propone el anarquismo epistemológico que representa una crítica al deseo de objetividad del racionalismo y a su carácter estático. Esa perspectiva desacredita la imposición de una teoría de la ciencia que pretenda ser autorizada por alguna teoría de la racionalidad

del hacer científico. Según Silveira (1997), para Lakatos, la revolución científica constituye un proceso racional de superación de un programa por otro. La superación ocurre cuando un programa tiene con respecto al contrario un excedente de contenido de verdad. Bachelard (2000) consideró la superación de obstáculos epistemológicos como el motor de la generación del conocimiento científico, que siempre es aproximado y afirmó también que se conoce en contra del conocimiento anterior, destruyendo conocimientos mal adquiridos. Entre los obstáculos que debe superar están, entre otros, la experiencia básica, el conocimiento unitario y pragmático, y el sustancialismo.

Los paradigmas de la Física

Uno de los paradigmas más transcendentales en el desarrollo de la ciencia es el paradigma cartesiano-newtoniano; es necesario aclarar que tal paradigma no se presenta con una visión idéntica en esos pensadores, ya que las visiones de Descartes (1596-1650) y de Newton (1642-1727) no se superponen completamente, sino que existe una área en la que se solapan y otra muy particular de cada uno de ellos. Por eso, se requiere complementar la forma como este paradigma ha sido abordado por algunos autores (Martínez, 1993; Yus, 1997), en tal sentido, se debe hacer una breve caracterización de dichas visiones. Se han planteado durante la historia de la humanidad diversos enfoques para explicar la construcción del conocimiento, entre ellos: la razón intelectual y la experiencia sensorial. Si se considera que la única fuente válida y cierta para producir conocimiento es la razón, entonces esta tesis es racionalista. Tal es la postura de Descartes, Malebranche (1638-1715), Spinoza (1623-1677), Leibniz (1646-1716) y Pascal (1623-1662), entre otros pensadores. Por el contrario, si se considera que únicamente la experiencia sensorial es fuente de conocimientos científicos indiscutibles y certeros, entonces tal tesis es empirista. Este es el punto de vista de Bacon (1561-1626), Hobbes (1588-1679), Locke (1632-1704), Newton (1642-1727), Hume (1711-1776), Berkeley (1685-1753). Estas tesis constituyen los dos paradigmas epistemológicos fundamentales que representan la visión de la humanidad sobre la forma en que se construye el conocimiento. Existen además otras visiones “eclécticas”, como la de

Bachelard (2014) denominada "El materialismo racional", que postula una superación integradora de las visiones racionalistas y empiristas, y la del pragmatismo (Pierce, James, Dewey) que James (1975,) expresa como:

> …las ideas (que no son sino partes de nuestra experiencia) llegan a ser ciertas en cuanto nos ayudan a entrar en relación satisfactoria con otras partes de nuestra experiencia, a resumirlas y moverse entre ellas mediante atajos conceptuales en lugar de seguir la interminable sucesión de fenómenos particulares. Cualquier idea sobre la que podamos cabalgar, por así decirlo, cualquier idea que nos conduzca prósperamente de una parte de nuestra experiencia a otra, enlazando las cosas satisfactoriamente, laborando con seguridad, simplificándolas, ahorrando trabajo es verdadera, esto es verdadera instrumentalmente (op. cit. Pp. 52-53).

Visión de Descartes

El objetivo fundamental del pensamiento cartesiano fue consolidar la filosofía como un saber autónomo, con un rigor similar al de las ciencias exactas y naturales, para ello Descartes elaboró su Discurso del Método (1637/1983) donde expuso sus conceptos de criterio de certeza, análisis, síntesis, conjeturas y verificaciones, la duda metódica y el cogito ergo sum (pienso, luego existo), o bien que el pensamiento es una condición suficiente –aunque no necesaria– para existir). Las siguientes ideas de Descartes han tenido una amplia repercusión en la ciencia moderna (ciencia de los siglos XVII-XIX):

• Separación entre la sustancia pensante (el alma, el yo pensante, res cogitans) y el cuerpo (res extensa). En palabras de Descartes :

> …conocí por esto que yo era una sustancia cuya completa esencia o naturaleza consiste sólo en pensar, y que para existir no tiene necesidad de ningún lugar ni depende de ninguna cosa material; de modo que este yo, es decir, el alma, por la que soy lo que soy, es enteramente distinta del cuerpo, y hasta más fácil de conocer que él, y aunque él no existiese, ella no dejaría de ser todo lo que es… (p. 72).

Además de la sustancia pensante, Descartes reconoce la existencia de una sustancia infinita divina (res infinita) y de una sustancia material

(res extensa, el mundo material, al cual pertenecen todas las cosas materiales, entre ellas, el cuerpo del sujeto). De esta manera queda firmemente establecida la separación sujeto (sustancia pensante) y objeto (sustancia material) que será una de las premisas básicas del positivismo y que ejercerá una poderosa influencia en el método científico. De la conjunción de la buena voluntad divina y de las apariencias humanas –que hacen ver el mundo como efectivamente existente y no como una mera ilusión– surge una nueva premisa: la existencia de la materia independientemente de la sustancia pensante. Esta materia se caracteriza por la tridimensionalidad y la extensibilidad (res extensa).

- Este carácter extenso de la materia, a la vez que exenta de subjetividad y finalidad condujo a Descartes a considerar a los cuerpos físicos como máquinas y autómatas. Para él, todo fenómeno material puede ser reducido a lo matemático-mecánico, incluso el propio cuerpo humano, considerando al mundo físico totalmente regido por leyes Físicas inexorables.

Visión de Newton

La obra más importante de Newton es Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (1687/1998), en la que expuso su concepción del mundo basada en la Ley de Gravitación Universal (LGU), confirmando las hipótesis de Galileo sobre la homogeneidad del mundo físico, en el sentido de que tanto los fenómenos físicos como los cósmicos siguen las mismas leyes. Es de destacar que hoy se sabe que la LGU no tiene ese carácter pretendidamente universal que Newton le atribuyó, ya que no es válida ni para lo muy pequeño (el micro-mundo, es decir, la escala atómica y subatómica) ni para lo muy grande (el macromundo, es decir, la escala terrestre y cósmica). Además, de la LGU, Newton enunció otras tres leyes conocidas actualmente con el nombre de Leyes de Newton: el principio de inercia, el de acción y reacción, y el que relaciona de manera causal, la fuerza y el cambio de la cantidad de movimiento, que también adolecen de carácter universal. El método newtoniano se caracteriza por ser (Holton y Brush, 1976):

• Empírico, inductivo y matemático. Partiendo de la minuciosa observación de los hechos Newton extrajo leyes, luego modificadas cuando los datos obtenidos por la experiencia demostraban su inexactitud.
• Opuesto a cualquier tipo de elaboración metafísica y deductiva que no se fundamentara en la verificación experimental del fenómeno. Para él todas las generalizaciones que no dependan de la observación directa son falsas.
• Simplicidad de la naturaleza: sólo hay que admitir como causas de los hechos las estrictamente necesarias para explicar y describir un fenómeno y no otras accesorias.
• Los efectos del mismo género o tipo deben ser atribuidos a causas iguales.
• Las cualidades, no susceptibles de aumento o disminución y concurrentes en todos los cuerpos accesibles a la experiencia, deben ser consideradas como pertenecientes a todos los cuerpos de la naturaleza.
• La certeza del método inductivo es absoluta y no probabilística.

La interpretación mecanicista de la naturaleza estableció por mucho tiempo que dadas unas condiciones iniciales de la trayectoria de un objeto y las fuerzas que actúan sobre él, es posible predecir de forma exacta su movimiento. Newton además de estudiar la Mecánica, también elaboró el cálculo infinitesimal y trabajó en problemas de Mecánica de Fluidos y de Óptica. Este último campo merece especial atención, ya que Newton defendió la teoría corpuscular de la luz y su gran autoridad hizo, a pesar de las evidencias experimentales, que no prosperaran teorías alternativas para explicar la naturaleza y las propiedades de la luz. Entre estas teorías se encuentran la teoría ondulatoria, que en algunas circunstancias describe con mayor precisión los fenómenos luminosos. Posteriormente, ocurrió un cambio de paradigma (Saldaña, 1983) fundamentado en la obra de Christiaan Huygens, Traité de la lumière (1678).

Pero de alguna forma, la mecánica cuántica, con su síntesis interpretativa denominada "dualidad onda-corpúsculo", le ha dado parcialmente la razón a Newton y también a los defensores de la teoría

ondulatoria. Se está en presencia de un caso donde los paradigmas no son, en su formulación, definitivamente superados, y donde un paradigma que se suponía localmente sustituido reaparece por el soporte que le da otro paradigma ("dualidad onda-corpúsculo"), en este caso, más global. La Interpretación de Copenhague (Bohr, 1934) de la mecánica cuántica se fundamenta en los Principios de incertidumbre y complementariedad, y la interpretación estadística de la función de onda de Max Born (1954).

Paradigmas de la modernidad versus paradigmas de la postmodernidad

La Mecánica Clásica representó durante mucho tiempo el paradigma que cobijó un conjunto de teorías que se caracterizaron por el carácter absoluto del espacio-tiempo, por la causalidad determinista, por la separación objeto-sujeto, por el reduccionismo de la materia a partículas últimas indivisibles (los átomos). Una de las expresiones más evidentes del determinismo causal de la Mecánica Clásica se debe a Laplace y fue publicada en su obra Théorie Analytique des Probabilités (1812, p. II-III):

> Una inteligencia que conociese todas las fuerzas de las que está animada la naturaleza y la posición respectiva de los seres que la componen, si además fuese tan amplia como para poder sujetar todos estos hechos al análisis, comprendería en una sola y única fórmula los movimientos de los más grandes cuerpos del universo y los del átomo más ligero; nada sería incierto y el porvenir, como el pasado, estaría presente a sus ojos.

Sobre las características del paradigma de la modernidad han escrito diversos autores, entre ellos destaca Mires (1996) quien ha señalado por lo menos una oncena de ellas: determinismo causal, naturalismo, esencialismo, racionalidad, antagonismos irreconciliables (lógica dicotómica), trascendencia, objetividad e inmutabilidad de un orden universal, separación objeto-sujeto, duda metódica y reduccionismo del todo en sus partes.

Según Mires (op. cit.) la Física Cuántica llegó a sus resultados buscando precisamente la "esencia de la materia" pues, de acuerdo con

el paradigma maquinal por el cual se guiaba, cada aspecto de la realidad se deja deducir de otro más profundo. Del organismo a la célula; de la molécula al átomo; del núcleo atómico a las partículas elementales. Para el mismo autor, la revolución paradigmática se inició quizá desde comienzos del siglo XX cuando los físicos descubrieron que el átomo no era la esencia del universo, sino un micro-universo en el que circulaban otras partículas extremadamente pequeñas como electrones, protones y neutrones, y que también podía transformarse en otro átomo (desintegración radioactiva), ser fragmentado (por ejemplo, en la reacción nuclear de fisión).

Los experimentos de Física Nuclear efectuados desde finales del siglo XIX hasta el presente han hecho evidente que las partículas atómicas (electrones, protones y neutrones) tampoco constituyen la esencia de la materia sino que cada una de ellas representa un micro-universo compuesto de otras partículas. ¿Es posible esperar que estas subdivisiones continúen hasta el infinito? Además, el carácter vacío de la materia también coadyuvó al aniquilamiento del esencialismo. En palabras de Von Bertalanffy (op. cit.; p. 238):

> "La materia sólida, la parte más firme de la experiencia y la más trivial de las categorías de la Física ingenua, consiste casi por entero en vacío salpicado de centros de energía que, considerando su magnitud, están separados por distancias astronómicas".

En el cuadro 2 se muestran comparativamente las características entre ambos paradigmas.

La Física postmoderna y la relatividad del espacio-tiempo

En el mundo de las dimensiones intermedias, el espacio euclidiano –espacio absoluto– y el tiempo newtoniano –tiempo absoluto– (Wartofsky, 1973; Resnick, 1977; Davies, 1982) son aplicables con muy buena aproximación (von Bertalanffy, 1991), pero al considerar distancias astronómicas hay que considerar geometrías no euclidianas (Rucker, 1977; Doubrovine et. al. 1982) y para describir el micromundo se hacen necesarios espacios configuracionales multidimensionales (por ejemplo, el espacio de Hilbert). También, en la teoría de la relatividad especial, el

espacio y el tiempo forman parte del mismo tetravector que pertenece a un espacio (No-Euclidiano) de cuatro dimensiones, el espacio de Minkowski-Lorentz (Sazánov, 1990).

La teoría de la relatividad nos presenta un mundo físico donde el espacio y el tiempo dependen del sistema de referencia donde esté ubicado el observador –relatividad del espacio y del tiempo. Esta relatividad también se presenta en otras áreas del conocimiento. Von Bertalanffy (1991) ha identificado algunas de ellas (por ejemplo, en la Biología, en el comportamiento diferenciado de fenómenos cuando los elementos son abordados aisladamente o en intercambio unos con otros) que lo estimulan para proponer la Teoría General de Sistemas.

La Física postmoderna y la separación objeto-sujeto. El principio de incertidumbre de Heisenberg

Como ya se afirmó, Descartes planteó la separación objeto-sujeto, luego también sostenida por Locke en el siglo XVII. El positivismo le dio cuerpo y lo transformó en un pilar fundamental de la ciencia moderna. No obstante existe una interacción entre el sujeto y el objeto que ocurre cuando percibimos (o captamos) el objeto a través de nuestros sentidos o de instrumentos de observación y medida. Bohr (op. cit) señaló que en Física cuántica el observador interactúa con un sistema de partículas de tal forma que la propia existencia de dicho sistema depende del observador.

Así, según Martínez (1993), es lógico que lo que se observa no es la naturaleza en sí misma, sino la naturaleza expuesta a nuestro método de búsqueda y a la teoría de ese método. De aquí concluye que somos actores más bien que espectadores. El mismo punto de vista es sostenido por Mires (1996). Pero, es evidente que si percibiéramos un aspecto de la realidad tal como es seguiríamos siendo actores, no ya en el proceso de percepción sino con respecto a la posibilidad siempre presente de cambiar la realidad con nuestras acciones o la injerencia de cualquier agente externo. Según von Bertalanffy (op. cit) debe existir una similitud entre la realidad sujeta a observación y su percepción. Él ha expresado que:

> No se requiere que las categorías de la experiencia correspondan cabalmente al universo real, y menos aún que lo representen por completo ...por las razones biológicas mencionadas antes, la experiencia no puede ser del todo equivocada y arbitraria; pero, por otra parte, basta que exista cierto grado de isomorfismo entre el mundo experimentado y el real, de manera que la experiencia consiga guiar al organismo a fin de preservar su existencia. (p. 253).

La percepción de esta realidad sesgada, entendida como la representación que cada uno hace de ella, moviliza un conjunto de procesos internos que construyen la realidad del sujeto (Flórez, 1994). Aquí conviene distinguir entre lo real y la realidad. Según Lacan (2009) el primer concepto se refiere a lo que existe y no es imaginario, ni representable, ni simbolizable y el segundo corresponde a todo lo que puede ser percibido. La realidad, que es el objeto del sujeto pensante está en los registros imaginarios, simbólicos, y del lenguaje. Creamos el conocimiento trabajando con la realidad no con el real (él no existe para ser pensado o simbolizado).

Para Kant (1984), lo real es la esencia misma de las cosas, la cosa en sí, el conocimiento último y la realidad es lo que la mente humana percibe mediante los sentidos.

Otros pensadores, como Francisco Varela (1990) proponen el concepto de enacción, para la cognición; así el sistema cognitivo crea su propio mundo que resulta de aspectos internos preexistentes, los cuales, mutuamente o en co-determinación, definen ellos mismos el mundo a ser creado por su cópula estructural. Así Varela, Maturana, Lakoff y los científicos cognitivos actuales piensan en la idea de conocimiento corporificado o incorporado, que no está fuera como creen los objetivistas (realistas) y que no existe un mundo exterior independiente de lo que somos y hacemos.

El punto de vista postmoderno (propugnado, entre otras corrientes por el neopositivismo) que proclama la dependencia objeto-sujeto ha sido denominado por algunos pensadores relativización de la realidad.

Según Mires de acuerdo con la Física Cuántica:

> La realidad que se observa en las partículas no podía ser otra que la del propio observador, significa que no somos, en ese sentido, actores de una realidad objetiva sino, en cierto modo, "creadores de la realidad en la que participamos"... "la realidad no está dada; es construida" (op. cit, p. 176).

El replanteamiento postmoderno de la relación sujeto-objeto se debe en parte, a que en el nivel atómico no podemos captar al átomo tal como es, sino que para hacerlo necesariamente tenemos que interactuar con él, a través de los instrumentos y experimentos diseñados apropiadamente, modificando su posición y velocidad, de tal manera que no percibimos al átomo como era antes de la interacción (otra situación interesante se presenta cuando la observación de un objeto cuántico selecciona una parte de una realidad más compleja que consiste en una superposición de varios estados para tal objeto; el estado seleccionado no puede predecirse de forma determinística sino probabilística, tal resultado evidenciado mediante el experimento del gato de Schroedinger tiene diversas interpretaciones entre otras la de Copenhague, la de muchos mundos y la del colapso objetivo).

El planteamiento anterior implica que el electrón puede poseer una posición y una velocidad definidos en cualquier instante, y que es el proceso de medida el que introduce la indeterminación. Sin embargo, diversos autores entre ellos Beiser (1970) sostienen que ésta indeterminación es inherente a la naturaleza del cuerpo móvil. El Principio de Incertidumbre fue propuesto por primera vez por W. Heisenberg en 1927. El principio establece que el producto de la incertidumbre de la posición de un cuerpo en un instante determinado Δx, por la incertidumbre de su cantidad de movimiento Δp, deber ser por lo menos igual a la constante de Planck dividida entre 2π. Así no se puede medir con absoluta certidumbre, simultáneamente, la posición y la cantidad de movimiento. El hecho de que se mida la posición de una partícula con certidumbre o una exactitud infinita significa que la indeterminación de su posición tenderá a cero, es decir $\Delta x \rightarrow 0$, y que Δp, la indeterminación en el momento será infinita.

Al respecto, Heisenberg (1949) establece que si se determina la posición de una partícula con una alta exactitud el proceso de medición altera la partícula de tal forma que será imposible obtener información posterior sobre el momento, por lo que este último toma cualquier valor. Según Heisenberg, estas indeterminaciones no existen en nuestros aparatos pero si en la naturaleza. Sin embargo, diversos investigadores, entre ellos Clifton-Albergotti (1973) se han planteado la interrogante de si en efecto los experimentos modernos están limitados por la propia naturaleza o bien por los instrumentos de medición y el propio diseño experimental. Si lo primero es verdad, entonces dichos experimentos representan una demostración práctica del principio de incertidumbre; si por el contrario, lo segundo es lo cierto, el principio de incertidumbre permanecería como algo estrictamente académico. Berkeley (1982) sostiene que la realidad que percibe el sujeto sólo existe en su mente, y las experiencias con los fenómenos que esa realidad genera solamente son secuencias de ideas –que provienen de Dios- que ocurren en la mente sin relación causal con el mundo exterior (que no existe). Es posible pensar que la imposibilidad de conocer la posición de una partícula cuántica cuando se conoce con total certeza su velocidad (Principio de incertidumbre) es como que si, siguiendo a Berkeley, una parte de la realidad no existiera.

Newton Bernardes (1999) desarrolla una discusión muy interesante con respecto al paradigma realista, la manera de ver el mundo, que caracteriza a la Física del siglo XIX y que los físicos teóricos del siglo XX cuestionaron, específicamente los que se identifican con la interpretación de Copenhague. Al discutir el punto focal de esta discordancia que se localiza en el papel del "aparato de medida", el intermediario entre sujeto y objeto, en la relación sujeto-aparato y objeto-aparato señala que:

> Muitos físicos gostariam de eliminar o aparelho, quer integrando-o ao sujeito, ou então ao objeto. Todavia, nenhuma dessas duas alternativas é possível porque a linguagem emerge do aparelho, que é suposto ser bem comportado, [...]. Porém, o ponto principal da questão é saber se é racional ou não a relação entre sujeito e aparelho, ou entre aparelho e objeto (p. 26).

> [A muchos físicos les gustaría eliminar el aparato integrándolo al sujeto o al objeto. Ninguna de esas dos alternativas es posible porque el lenguaje emerge del aparato, que se supone tiene buen comportamiento, […]. Sin embargo el punto principal del asunto es saber si la relación entre el sujeto y el aparato o entre el aparato y el objeto es racional.]. (Traducción de los Autores).

Según el autor, en la Física clásica se concibe al aparato de medida como: mínimo –se produce cantidad satisfactoria de información con un número mínimo de aparatos; tenue –ejerce mínimo constreñimiento en el objeto; sutil –no altera el estado del objeto; evanescente –obtenida la información pertinente debe comportarse como si no existiese, "desaparecer" – y sobre todo programable –la lectura del aparato debe ser inequívoca, o sea, el lenguaje del sujeto debe describir perfectamente la lectura del aparato. Para la Física del siglo XX, mínimo, tenue y sutil permanecen como cualidades esenciales, pero la evanescencia y la programabilidad son asuntos divergentes entre puntos de vista alternativos (op. cit.; pp. 28-29). Como se consideró antes, para la Física cuántica, la interacción entre dos objetos (ejemplo, el aparato y un objeto) no puede ser menor al quantum de acción ħ. De modo que la evanescencia no puede ser anulada. Por otro lado, la ideología de Copenhague establece que la interacción entre aparato y objeto es irracional, entonces no puede ser descrita por ningún programa racional.

La discusión antes desarrollada soportada en la Física moderna como lo señalan Hawking y Mlodinov (2010) dio al traste con la idea: "de que todo el conocimiento sobre el mundo podía ser obtenida mediante la observación directa, y que las cosas son lo que parecen, tal como la percibimos a través de los sentidos" (p. 13).

Esos autores proponen como perspectiva "el realismo dependiente del modelo" basada en la idea de que nuestros cerebros interpretan los datos de los órganos sensoriales elaborando un modelo del mundo. Cuando el modelo explica satisfactoriamente los acontecimientos tendemos a atribuirle a él y a los elementos y conceptos que lo integran la calidad de realidad o verdad absoluta.

Resumiendo, existen diversos aspectos involucrados en la interacción sujeto-objeto, uno es la percepción que involucra a los sentidos e instrumentos (que no reflejan por limitación Física completamente a la realidad), otro en el mismo proceso neural de lo perceptivo, que está relacionado con la estructura cognitiva adquirida y su reacomodo lo cual genera nuestra representación (o construcción) de la realidad percibida y que está fuertemente influenciada por el lenguaje. Adicionalmente, la vinculación indisoluble del sujeto con el objeto planteada por la interpretación de Copenhague, en tanto que limitación intrínseca de la naturaleza, y que se expresa mediante el principio de incertidumbre.

El principio de complementariedad. La dualidad onda-corpúsculo

Según Martínez (op. cit) este principio subraya la incapacidad humana de agotar la realidad con una sola perspectiva. Para este autor, la descripción más rica de cualquier entidad, sea Física o humana, se lograría al integrar en un todo coherente y lógico los aportes de diferentes personas, filosofías, métodos y disciplinas.

El principio de complementariedad tiene diversas expresiones en Física (Von Bertalanffy, op. cit.; p. 260):

> Corpúsculo y onda son ambos aspectos legítimos y complementarios de la realidad Física que, en ciertos fenómenos ha de ser descrita según el primero, en otros según el segundo. El contraste entre estructura y proceso se viene abajo en el átomo así como en el organismo vivo cuya estructura es al mismo tiempo expresión y portadora de un fluir continuo de materia y energía. Acaso el problema inmemorial del cuerpo y la mente sea de naturaleza similar, por ser aspectos diferentes, equivocadamente hipostasiados, de una y la misma realidad.

Según Von Bertalanffy (1991) la realidad última es una unidad de opuestos; cualquier enunciado es válido solo desde cierto punto de vista, su validez es relativa y debe ser suplementada por enunciados antitéticos desde puntos de vista opuestos. La dualidad onda-corpúsculo, la cual mencionamos anteriormente como un paradigma subsumidor o abarcante,

representa un caso especial del Principio de Correspondencia. Holton y Brush (op. cit.; p. 725) expone la dualidad onda-corpúsculo de la siguiente forma:

> En su tesis doctoral de 1924 (basada en parte en artículos publicados un año antes) De Broglie proponía una simetría arrebatadora para la Física: Del mismo modo que los fotones se comportan como partículas o como ondas, así también los electrones se comportarían como partículas o como ondas. En particular, un electrón de masa m, moviéndose con velocidad v, tendría una longitud de onda λ dada por la fórmula λ = h/mv siendo h la constante de Planck.

Pero, el Principio de Complementariedad es más general, al respecto, las antinomias de la razón pura de Kant son recordadas por Strobl:

> Además de los parámetros canónicamente conjugados como localización espacial y cantidad de movimiento, duración temporal y estado energético, son conceptos complementarios de la microfísica: carácter corpuscular y carácter ondulatorio, individualidad e interacción, Física de puntos y Física de campos, más generalmente: discreción y continuidad… (1966, p. 191)

Las estructuras disipativas y el caos determinista: nuevos paradigmas postmodernos

Ilya Prigogine comenzó investigando el equilibrio, luego pasó al no-equilibrio en las cercanías del equilibrio, para después irse alejando de éste hasta descubrir, que lejos de él, el no-equilibrio es fuente de organización, y formular, por primera vez en 1967 la noción de estructuras disipativas y, a partir de ellas, construir una visión del universo sustentada en el caos, la inestabilidad, la génesis del orden desde el centro mismo del desorden (Prigogine, 2002, 1996, 1993, 1980).

De acuerdo con Coveney y Highfield (1992), Prigogine se dedicó a estudiar sistemas abiertos lejos del equilibrio a través de los cuales puede fluir tanto energía como materia y en donde relaciones no lineales gobiernan el comportamiento. Señala que cuando los sistemas abiertos están lejos del equilibrio, sus estados estacionarios pueden

transformarse en inestables. Según Prigogine cuando estamos lejos de las condiciones de equilibrio, hay muchos estados posibles, que son las distintas estructuras disipativas accesibles. En cambio, si nos acercamos al equilibrio tendremos una dinámica lineal. Sostiene además que en la proximidad del equilibrio una partícula determinada interactúa sólo con las vecinas; mientras que en una situación alejada del equilibrio se producen las correlaciones de largo alcance que permiten la construcción de los estados coherentes.

Los paradigmas de la Física y su influencia en las demás ciencias. Retardos difusionales

Según Mires (op. cit.) un paradigma puede originariamente surgir de una ciencia muy especializada, pero puede desbordar su lugar de nacimiento, transmitiéndose a múltiples ciencias y disciplinas, donde actúa como modelo o principio rector y en un momento determinado puede dejar de ser solo científico y transformarse en cultural. Este ha sido el caso de diversos paradigmas de la Física respecto a las demás ciencias. Es tan poderosa su influencia que ha dado origen a por lo menos dos posturas, una de ellas, el fisicismo, reduccionismo o materialismo que pretende reducir todo a leyes Físicas y la otra, el fisicalismo que plantea que el lenguaje propio de la Física, la estructura lógico-matemática-causal de sus leyes, debe ser una lengua universal válida para todas las demás ciencias. Este punto de vista es sostenido en particular por los neopositivistas, preconizadores de una unificación de todas las ciencias que permita una verificación absoluta e intersubjetiva de los enunciados.

Por otro lado Thomas Herbert (sobrenombre de Michel Pêcheux) (1995) reconoce en esta extensión de teorías a otros espacios del conocimiento científico como una (Tipo B) de las dos formas de ideología (Tipo A y B) que se constituyen en este proceso y resalta que:

> Toda ciência – qualquer que seja seu nível atual de desenvolvimento o seu lugar na estrutura teórica – é produzida por um trabalho de mutação conceptual no interior de um campo conceptual ideológico em relação ao qual ela toma uma distância que lhe dá, num só movimento, o conhecimento das errâncias anteriores e a garantia de

> sua própria cientificidade. Nesse sentido, toda ciência é inicialmente ciência da ideologia da qual ela se destaca. (pp. 63-64).

> [Toda ciencia –independientemente de su nivel real de desarrollo o su lugar en la estructura teórica– es producida por un trabajo de mutación conceptual en el interior de un campo conceptual ideológico respecto al cual ella toma una distancia que le permite, en un único movimiento, el conocimiento de las trayectorias anteriores y la garantía de su propia cientificidad. En ese sentido, toda ciencia es inicialmente ciencia de la ideología de la cual ella se separa] (traducción de los Autores).

El análisis de la dinámica de la influencia de los paradigmas de la Física sobre el resto de las ciencias nos permite concluir que en muchas ocasiones cuando en la Física están ocurriendo cambios paradigmáticos, los viejos paradigmas de la Física aún imperan en el resto de las ciencias que han sido influidas por aquella, deteniendo su avance en muchos casos. Es decir, ocurre un retardo difusional del paradigma. Esto ha sido expresado por Martínez (op. cit.) en los siguientes términos (p. 147):

> Cabe preguntarse por qué en el siglo XX, mientras se formulaban los conceptos de la nueva Física, la visión mecanicista cartesiana y los principios newtonianos seguían manteniendo su influencia en el pensamiento científico. Aún hoy muchos científicos siguen aferrándose al paradigma mecanicista, a pesar de que los mismos físicos ya han logrado superarlo…
> En el área de la biología, todavía la estructura conceptual bastante dominante sigue siendo la visión cartesiana que concibe los organismos vivientes como máquinas constituidas por diferentes partes. A pesar de que la biología cartesiana, simple y mecanicista, no podía llegar muy lejos y que hubo de ser modificada considerablemente durante los trescientos años que siguieron a su formulación, la idea de que todos los aspectos de un organismo podían entenderse reduciéndolos a sus constituyentes más pequeños y estudiando los mecanismos de interacción de éstos, sigue hallándose en la base misma de la mayoría de los conceptos biológicos actuales.

Si embargo, es menester mencionar que el desarrollo de algunas áreas de la biología (por ejemplo, la ecología, la neurociencia y la biología de sistemas) está enmarcado en la perspectiva de la complejidad.

Como se mostrará más adelante, otros tipos de retardo denominados paradigmático y meta-paradigmático acontecen dentro de la propia Física y están relacionados con el uso de paradigmas no vigentes y sublenguajes superados, respectivamente.

Retardo paradigmático y metaparadigmático

Dentro de los paradigmas actualmente vigentes en Física, es imprescindible referirse por sus implicaciones didácticas, la concepción posmoderna de la energía y la teoría cinética del calor. En diversos libros de enseñanza y artículos científicos, sin embargo, se utilizan como paradigmas vigentes, la concepción mecanicista de la energía (la energía es la capacidad para hacer trabajo, entre otras características) y la teoría del calórico, aun cuando son paradigmas ya sustituidos (Michinel y D´Alessandro, 1994; Alomá y Malaver,2007). Esto es lo que hemos denominado retardo paradigmático. Por si fuera poco, ocurre con mucha frecuencia que aún cuando se declare en libros de textos y artículos científicos la vigencia de los nuevos paradigmas, se continúa utilizando el sublenguaje de los paradigmas desplazados. Esto se presenta como un retardo metaparadigmático, porque es un retardo que no se relaciona con el paradigma en sí, sino con el uso de su lenguaje inherente. En el cuadro 2, se muestran los paradigmas de la modernidad y la postmodernidad. Los paradigmas tienen diferentes propiedades: unos sustituyen completamente al paradigma anterior (teoría cinética de los gases vs teoría cinética del calor) y otros son subsumidores (teoría relativista vs mecánica newtoniana, dualidad onda- corpúsculo vs teoría ondulatoria y teoría corpuscular).

El cuadro 3 presenta una comparación entre la física moderna, mecánica clásica (ciencia de la modernidad) y las teorías Físicas de la postmodernidad (Cuántica y Relatividad).

Cuadro 2. Evolución de los paradigmas de la Física

PRE-MODERNIDAD	MODERNIDAD (SIGLO XIX)	POST MODERNIDAD (SIGLO XX)
FÍSICA PRE-MODERNA	FÍSICA CLÁSICA	FÍSICA DE LA COMPLEJIDAD
•Teoría del calórico	•Mecánica Newtoniana	•Termodinámica de los sistemas abiertos (Estructuras Disipativas)
	•Teoría Cinética de los Gases	
•Teoría del flogisto	•Teoría Cinética del Calor	•Dinámica no lineal (Caos determinista)
	•Termodinámica Clásica	•Electrodinámica Cuántica
	•Electromagnetismo Clásico	•Teoría del Campo Unificado
		•Mecánica Estadística

Cuadro 3. Comparación entre la mecánica newtoniana y la mecánica posmoderna (cuántica y relativista)

MODERNIDAD	POST-MODERNIDAD
MECÁNICA NEWTONIANA	MECÁNICA RELATIVISTA (especial y general)
• Leyes de Newton • Ley de la Gravitación Universal	Fundamentos: • Geometría no euclidiana • Espacio y Tiempo Relativo
Fundamentos:	• Conversión de masa en energía y viceversa: $E = mc^2$
•Geometría Euclidiana (Espacio Plano)	•Deductivo-matemático
• Espacio y Tiempo Absolutos	MECÁNICA CUÁNTICA
•Mecanicismo y Determinismo causal Cartesiano • Empirista	Fundamentos: •Dependencia Objeto-Sujeto-Instrumento de medida: Principio de Incertidumbre de Heisenberg.
• inductivo – Matemático	•Principio de Complementariedad: (Dualidad Onda – Corpúsculo)

Implicaciones metodológicas y didácticas

La realidad no es la idealización que se plantea la ciencia de la modernidad. La realidad es como se la plantea la complejidad de la ciencia contemporánea. Por eso es que desde esta se piensa en términos de probabilidad. Como ya mencionamos Bachelard (2000) establece que existen elementos –obstáculos epistemológicos– en el interior del intelecto que dificultan el conocimiento cierto del "real" y no permiten la adecuada evolución del espíritu científico para que pueda pasar de un estado pre-científico –caracterizado por la objetividad, lo inmediato, lo dado por los sentidos– a un estado científico caracterizado por el desarrollo de las ciencias Físicas actuales. Eso con el intuito de probar que la abstracción desobstruye el espíritu científico y lo torna "más leve y más dinámico".

Esos obstáculos epistemológicos no se refieren a elementos externos que intervienen en el proceso de conocimiento científico, como podrían ser la complejidad y la fugacidad de los fenómenos, y tampoco están ligados a la fragilidad de los sentidos y del espíritu humano, sino que, están relacionados con las condiciones psicológicas que impiden que el espíritu científico en formación evolucione.

Es decir, es por el amago del propio acto de conocer que aparecen, por una especie de imperativo funcional, lentitudes y conflictos.

Aun, según Bachelard (2000) el epistemólogo debe captar los conceptos científicos en síntesis psicológicas efectivas, es decir, en síntesis psicológicas progresivas, estableciendo, en relación con cada noción, una escala de conceptos, mostrando como un concepto dio origen a otro, como está relacionado a otro -un perfil epistemológico-. Así, se tendrá alguna probabilidad de evaluar la eficacia epistemológica y el pensamiento científico va aparecer inmediatamente como dificultad vencida, como obstáculo superado.

Paradigmas emergentes

Es teóricamente posible plantearse la existencia de un paradigma epistemológico emergente, una especie de superparadigma de la postmodernidad del cual deriven los paradigmas locales postmodernos

correspondientes a las diversas ciencias, es decir, efectos ideológicos de tipo B, según Herbert (1995). Este superparadigma cumpliría un papel similar al que tuvo el paradigma newtoniano-cartesiano en la modernidad. Como ya existen algunos paradigmas locales postmodernos, entonces un camino posible es obtener una aproximación al superparadigma haciendo una retroproyección, una especie de síntesis paradigmática inductiva. El resto de los paradigmas locales se reobtendrían, en forma aproximada, a partir del superparadigma.

Para Martínez (op. cit.) el paradigma emergente se caracteriza por diversos principios o postulados fundamentales: tendencia al orden de los sistemas abiertos, la ontología sistémica, conocimiento tácito, holografía, metacomunicación, autorreferencia, complementariedad, complejidad del objeto y selectividad de la percepción. Para diversos autores (Yus, op. cit; Mires, op. cit.; Martínez, op. cit.) se ha venido produciendo durante los siglos XX y XXI un cambio de paradigma que abarca las diversas áreas del conocimiento, con un ritmo y unos antecedentes diferentes para cada una de ellas, con múltiples puntos en común, que permiten presumir la existencia de un proceso general de cambio de paradigma y el surgimiento de uno o varios superparadigmas, pero que, en conjunto convergen en un cambio general de perspectiva, y de la forma de contemplar la naturaleza y la actividad humana. Para nosotros un superparadigma no está enmarcado en la postura de Claude Bernard: “Estoy persuadido de que advendrá un día en que el fisiólogo, el poeta y el filósofo hablarán un mismo lenguaje y se comprenderán.”, ya que ésta no reconoce el desarrollo histórico-específico del conocimiento y plantea la posibilidad de alcanzar una meta-teoría, una ley que lo explique todo, vieja aspiración de los físicistas de construir la Teoría del Todo (“Theory of Everything”), apuntalada en la visión Laplaciana que se fundamenta en la causalidad como principio epistemológico universal y transcendente.

CONCLUSIONES

En este trabajo fue posible mediante un análisis documental abordar la definición y algunas características de un paradigma científico, y partiendo del paradigma newtoniano-cartesiano, establecer las diferencias y coincidencias entre las visiones de Newton y Descartes, y

considerando la superación de dichas visiones (Bachelard, James) en su aspectos empirista y racionalista, respectivamente, se evidenció que los paradigmas en la Física, luego de generarse, evolucionan, se amplían, se insertan en otras ciencias y finalmente se sustituyen o coexisten, siguiendo algunos caminos previamente estudiados (Kuhn, Popper, Whitehead, Feyerabend). Se profundizó en los diversos planteamientos relacionados con la interacción objeto-sujeto en Física, evidenciándose que en la actualidad, no obstante, el abordaje interdisciplinario del problema, este permanece sin dilucidar en su totalidad. Adicionalmente, se detectó en libros de texto y artículos científicos el uso indebido de conceptos derivados de paradigmas de la Física superados y también la persistencia del uso del sublenguaje propio de ellos.

REFERENCIAS

Alomá, E. y Malaver, M., (2007). Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de Carnot en textos universitarios de Termodinámica. *Enseñanza de las Ciencias.* 25 (3), pp. 387-399

Ansoff, H.I. (1987). El paradigma emergente del comportamiento estratégico. Investigación y Gerencia. Vol. V. No.2. pp. 61-74. Versión en castellano del artículo en inglés: "The emerging paradigm of strategic behavior". Strategic Management Journal (EUA). 8(6). pp. 501-518

Bachelard, G. (2000). La formación del espíritu científico. Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo. México: Siglo XXI

Bachelard, G. (2014). El materialismo racional. Paris: Puf

Beiser, A. (1970). Conceptos de Física Moderna. México: McGraw-Hill.

Berkeley, G. (1710/1982). Principios del conocimiento humano. Barcelona, España: Orbis.

Berkeley, G. (1713/1982). Tres Diálogos entre Hilas y Filonús. Barcelona, España: Orbis.

Bernardes, N. (1999). Termodinâmica, linguagem e indeterminação. Campinas: UNICAMP. Coleção CLE.

Bertalanffy Von, L. (1991). Teoría General de Sistemas. México: FCE.

Bohr, N. (1934). Atomic theory and the description of nature. Cambridge: Cambridge University Press. Capítulo III.

Born, M. (1954). The statistical interpretation of quantum mechanics. Discurso de Recibimiento del Premio Nobel de Física

Recuperado el 29 de septiembre de 2014 de http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1954/born-lecture.pdf

Clifton-Albergotti, J. (1973). Uncertainty Principle-Limited experiments: facts or academic pipe-dream. The Physics Teacher. Vol.11. January, pp. 19-23

Coveney, P. y Highfield, R. (1992). La flecha del tiempo: La organización del desorden. Barcelona, España: Plaza & Janés

Davies, P. (1982). El espacio y el tiempo en el universo contemporáneo. México: Fondo de Cultura Económica

Descartes, R. (1637/1983). Discurso del Método. Barcelona, España: Orbis

Doubrovine, B.; Novikov, S. Y Fomenko, A. (1982). Géométrie Contemporaine. Méthodes et applications. Première Partie. Moscú: Mir

Einstein, A. (1905), Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt, Annalen der Physik, 17: 132-148

Feyerabend, P. (1977). Contra o método. Rio de Janeiro: Francisco Alves Editora

Flórez, R. (1994). Hacia una pedagogía del conocimiento. Bogotá: McGraw-Hill.

Hawking, S Y Mlodinow, L. (2010). El Gran Diseño. Buenos Aires: Crítica.

Heisenberg, W. (1949).The physical principles of the Quantum Theory. NY: Dover Publications

Herbert, T. (1995). Observações para uma teoria geral das ideologias. Rua. v.1, pp. 63 – 89. Cahiers pour l`analyse, n. 9. 1967

Holton, G y Brush, S. (1976). Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias Físicas. Barcelona, España: Reverté

Huygens, C. (1678). Traitė de la Lumiere (completed in 1678, published in Leyden in 1690)

James W. (1975). Pragmatismo. Un nuevo nombre para algunos antiguos modos de pensar. Barcelona, España: Orbis

Kant, I. (1984). Crítica de la razón pura. Vols. I y II. Barcelona, España: Orbis.

Kuhn, T. (1971). La estructura de las revoluciones científicas. México: Fondo de Cultura económica

Kuhn, T. (2011). A tensão essencial: estudos relacionados sobre tradição e mudança científica. São Paulo: Editora Unesp

Lacan, J. (2009). Más allá del principio de realidad. En: Escritos I. Buenos Aires: Siglo XXI Editores

Laplace, P. (1812). Théorie Analytique des Probabilités. Paris: Courcier. Recuperado el 29 de septiembre de 2014 de http://gdz.sub.unigoettingen.de/dms/load/img/?PPN=PPN615402119&DMDID=DMDLOG_0002&LOGID=LOG_0005&PHYSID=PHYS_0004.

Laplace, P.S. (1812). Théorie analytique des probabilités. Mme Ve Courcier/ Gouthiers Villars. Imprimeur-Libraire de L'école Polytechnique.

Martínez, M. (1993). El paradigma emergente. Hacia una nueva teoría de la racionalidad científica. Barcelona, España: Gedisa.

Michinel, J.L. y D´Alessandro, A. (1994). El concepto de energía en los libros de textos: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*. 12 (3), pp. 369-380

Mires, F. (1996). La revolución que nadie soñó o la otra posmodernidad. Caracas: Nueva Sociedad

Newton, I. (1687/1998). Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. v. 1: Introducción y Libro I. Madrid: Alianza Editorial

Planck, M. (1900), "Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung in Normalspektrum", Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, 2: 237-243

Prigogine, I. (2002). As leis do caos. São Paulo: Editora UNESP

Prigogine, I (1996). O fim das certezas. Tempo, caos e as leis da natureza. São Paulo: Editora UNESP

Prigogine, I (1993). El nacimiento del tiempo. Barcelona, España: Tusquets

Prigogine, I (1980). From being to becoming. Time and complexity in the physical science. New York: W. H. Freeman and Company

Popper, K. (1999). La lógica de la investigación científica. Madrid: Tecnos

Pro, A.; Sánchez, G.; Valcárcel, M. (2008). Análisis de los libros de textos de Física y química en el contexto de la reforma LOGSE. *Enseñanza de las ciencias.* 26(2), 193–210

Resnick, R. (1977). Introducción a la teoría especial de la relatividad. Mexico: Limusa

Rucker, R. (1977). Geometry, relativity and the fourth dimension. New York: Dover

Saldaña, J. (1983). La introducción de la óptica ondulatoria: la explicación fresneliana de la difracción. *Revista Mexicana de Física.* 29 (3). p. 419.

Sazánov, A. (1990). El universo tetradimensional de Minkowski. Moscú: Mir

Silveira, F. (1997). La filosofía de la ciencia de Imre Lakatos: la metodología de los programas de investigación. *Revista de Enseñanza de la Física,* 10(2), pp.56-63

Strobl, W. (1966). El Principio de Complementariedad y su significación científico-filosófica. En: Anuario filosófico de la Universidad de Navarra. v. I. 185-203

Varela, F. (1990). Conocer. Barcelona: Gedisa

Wartofsky, M. (1973). Introducción a la filosofía de la ciencia. v. 2. Madrid: Alianza

Yus, R. (1997). Hacia una educación global desde la transversalidad. Madrid: Anaya